

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-214364

(P2000-214364A)

(43)公開日 平成12年8月4日(2000.8.4)

(51)Int.Cl.

G 0 2 B 7/00

識別記号

F I

G 0 2 B 7/00

マーク(参考)

F

審査請求 有 請求項の数30 OL (全 11 頁)

(21)出願番号 特願平11-367352

(22)出願日 平成11年12月24日(1999.12.24)

(31)優先権主張番号 09/221176

(32)優先日 平成10年12月23日(1998.12.23)

(33)優先権主張国 米国(US)

(71)出願人 399117121

アジレント・テクノロジーズ・インク
AGILENT TECHNOLOGIES
S, INC.

アメリカ合衆国カリフォルニア州パロアルト
ページ・ミル・ロード 395

(72)発明者 ケネス・ジェイ・ウェイン

アメリカ合衆国カリフォルニア州95070,
サラトガ, パークドライブ 15111

(74)代理人 100099623

弁理士 奥山 尚一 (外2名)

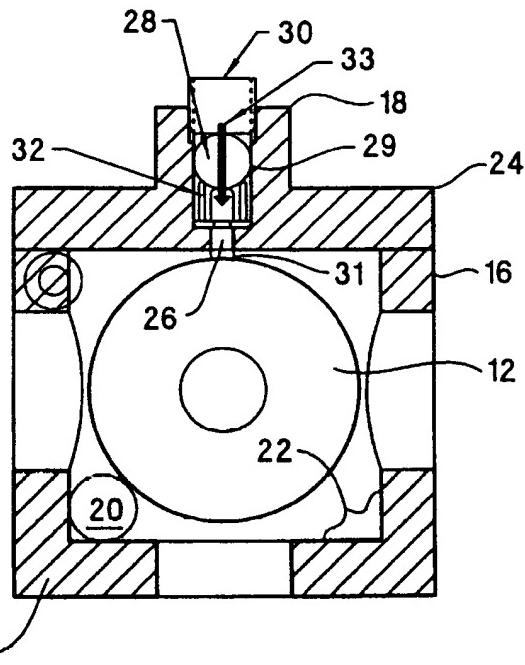
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光学装置の角度位置を正確に調整するための装置および方法

(57)【要約】

【課題】 光学装置および/またはレーザ・ビームの角度位置をその実質的な直線変位なしに調整するための光学装置取付け機器および方法を提供する。光学装置を実質上どの方向の動きもなしに調整位置に固定することができる。

【解決手段】 外側面を有する球(12)と、球(12)の角度変位が、実質上直線変位なしに可能であるように球(12)の外側面と物理接触する支持体(14)と、球(12)の外側面と物理接触し、実質上球(12)への伝達トルクなしに球(12)を介して支持体に力を提供することができるクランプ(18)とを含み、前記球が、光学装置を含む光学装置取付け機器と方法である。



14

【特許請求の範囲】

【請求項1】 外側面を有する球と、該球の角度変位が、実質上直線変位なしに可能であるように該球の外側面と物理接触する支持体と、該球の外側面と物理接触し、実質上、該球への伝達トルクなしに該球を介して支持体に力を提供することができるクランプとを含み、前記球が光学装置を含むものである、光学装置取付け機器。

【請求項2】 前記球が、取り付けられた光学装置を受けるように適合された請求項1に記載の光学装置取付け機器

【請求項3】 前記球の少なくとも1部分が光学装置である請求項1に記載の光学装置取付け機器。

【請求項4】 前記光学装置の中心軸が、前記球の中心軸の方向に位置決めされた請求項2に記載の光学装置取付け機器。

【請求項5】 前記球が、取外し可能な調整ツールを受けるように適合された請求項1に記載の光学装置取付け機器。

【請求項6】 前記球が回転中心を有し、すべての締付け力が前記回転中心に向かう請求項1に記載の光学装置取付け機器。

【請求項7】 前記支持体が、前記球の外側面に沿って点接触を提供するように位置決めされた複数の実質上剛性のボールを含む請求項1に記載の光学装置取付け機器。

【請求項8】 前記支持体が、3ボール・ネストを含む請求項7に記載の光学装置取付け機器。

【請求項9】 前記支持体が、さらに、ボールを受け、前記球の動きに応じてボールの回転運動を可能にするベアリング・レースウェイを含む請求項7に記載の光学装置取付け機器。

【請求項10】 スプリング・ボール・リテナをさらに含む請求項7に記載の光学装置取付け機器。

【請求項11】 前記ボールが、前記支持体内に実質上永久的に配置された請求項7に記載の光学装置取付け機器。

【請求項12】 前記支持体が、前記球を受けて、その外側面のまわりに線接触を提供するように適合された穴を含む請求項1に記載の光学装置取付け機器。

【請求項13】 前記クランプが、オリフィスが中に形成された構造部材と、2つの端部を有し、該オリフィス内に摺動可能に配置され、第1の端部が、前記球の外側面と接触するように適合されたプランジャと、該プランジャの第2の端部近くのオリフィス内に配置された実質上剛性のボールと、ボールを介して圧縮力を提供するように構造部材上に位置決めされた少なくとも1つの調整可能な締め金具と、オリフィス内に配置されたばねであって、少なくとも1つの調整可能な締め金具からの圧縮力がばねの対抗圧縮力に打ち勝つのに十分でないときに

プランジャの第2の端部よりも上にボールを支持するばねとを含む請求項1に記載の光学装置取付け機器。

【請求項14】 少なくとも1つの調整可能な締め金具が、実質上剛性のボールと接触する单一の締め金具である請求項13に記載の光学装置取付け機器。

【請求項15】 前記クランプが、固定式ばね締め金具を含む請求項1に記載の光学装置取付け機器。

【請求項16】 光学装置の角度位置を正確に調整する方法であって、

- 10 a) 光学装置を含む球を提供する段階と、
b) 該球の角度変位がその実質的直線変位なしに可能であるように該球を支持する段階と、
c) 該球の角度位置を変更する段階と、
d) 該球を実質上どの方向にも変化させることなく該球を変更位置に固定する段階と、
を含む方法。

【請求項17】 段階(a)が、前記球内に光学装置を取り付ける段階を含む請求項16に記載の方法。

【請求項18】 前記球の角度位置を変更する前に、前記球の中心軸の方向に前記光学装置の中心軸を位置決めする段階をさらに含む請求項17に記載の方法。

【請求項19】 段階(b)が、さらに、前記球の角度変位が最小の静摩擦で可能であるように前記球を支持する段階を含む請求項16に記載の方法。

【請求項20】 段階(c)が、取外し可能な調整ツールにより実行される請求項16に記載の方法。

【請求項21】 段階(d)が、前記球の回転中心に締付け力を向ける段階を含む請求項16に記載の方法。

【請求項22】 段階(b)が、複数の実質上剛性のボールを、前記球に点接触を提供するように位置決めする段階を含む請求項16に記載の方法。

【請求項23】 段階(b)が、3ボール・ネストによって実行される請求項22に記載の方法。

【請求項24】 前記ボールを受け、前記球の動きに応じて中の前記ボールの回転運動を可能にするように適合されたベアリング・レースウェイを提供する段階をさらに含む請求項22に記載の方法。

【請求項25】 複数の実質上剛性のボールの位置を互いに維持する段階をさらに含む請求項22に記載の方法。

【請求項26】 ベアリング・レースウェイ内にボールを運動学的に配置する段階をさらに含む請求項22に記載の方法。

【請求項27】 段階(b)が、前記球を受けてその球と線接触を提供するように適合された穴を含む支持体によって実行される請求項16に記載の方法。

【請求項28】 段階(d)が、オリフィスが中に形成された構造部材と、2つの端部を有し、オリフィス内に摺動可能に配置され、第1の端部が、前記球の外側面と

50 接触するように適合されたプランジャと、プランジャの

第2の端部近くのオリフィス内に配置された実質上剛性のボールと、ボールを介して圧縮力を提供するように構造部材上に位置決めされた少なくとも1つの調整可能な締め金具と、オリフィス内に配置され、少なくとも1つの調整可能な締め金具からの圧縮力がばねの対抗圧縮力に打ち勝つのに十分でないときにプランジャーの第2の端部よりも上にボールを支持するばねとを含むクランプによって実行される請求項16に記載の方法。

【請求項29】 少なくとも1つの調整可能な締め金具が、実質上剛性のボールと接触した单一の締め金具である請求項28に記載の方法。

【請求項30】 固定式ばね締め金具によって球を変更位置に維持する段階をさらに含む請求項16に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、実質的な直線変位なしに光学装置の角度位置を調整するための光学装置取付け機器および方法に関し、より具体的には、角度ずれなしにレーザ・ビームの方向の正確な調整および／または正確な並進を可能にするための装置および方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 様々な光学システムにおいて、製造者やオペレータは、多数の光学的構成要素を高い精度と再現性で位置合わせし位置決めしなければならない。また、現代の光学システムでは光源としてレーザが使用されることが多いため、直線位置を変化することなく（すなわち、並進なしに）レーザ・ビームの向きを操作する（すなわち、角度調整）ことが望ましいことがある。したがって、光学システムの構成要素の角度調整をそれぞれの平面で分離することが望ましいことがある。さらに、構成要素の角度調整が並進の調整と独立していることが望ましいことがある。また、製品の輸送、設置および／またはオペレータの環境での使用に耐えるために、最終的な調整をしっかりと固定しなければならない。しかしながら、従来の調整可能なマウントの場合、固定する作業によって光学装置の調整が乱れることがあり、十分に固定できないと、輸送および／または設置の際に光学装置の角度変位が生じることがある。

【0003】 そのような構成要素の正確な光学的位置決めを必要とする1つの光学システムは、レーザ干渉計システムである。レーザ干渉計位置決めシステムは、フォトリソグラフィ・ステッパー、X線ステッパー、電子ビーム露光など、焦積回路（IC）製造装置において重要な構成要素である。レーザ干渉計から正確さと繰り返し性を得ることができれば、IC上の多数の層を正確に位置合わせすることができ、その結果、回路の密度が高くなり歩留まりが大きくなる。また、ICの検査システムや修理システムも、レーザ干渉計システムの正確さから利益を得る。レーザ干渉計の測定の繰り返し性は、コンピュ

ータ産業における大記憶容量ディスク・ドライブの製造にきわめて重要である。レーザ干渉計の位置決めは、また、ホログラフィ・スケール、ガラス・スケール、金属スケールなどのその他の測定装置の製造と、それら装置の較正に使用される。レーザ干渉計の高い分解能と精度の運動制御能力は、高精度の切削装置（フライス盤、旋盤、および研削盤）が、より滑らかな表面仕上げを有するより正確な部品を作成することを可能にする。また、レーザ干渉計の位置決めシステムは、一般に、最新の計測学、座標測定装置、機械振動解析、PCボード製造などの含む幅広いその他の用途にも使用される。レーザ干渉計システムは、特に、直線距離、対角線および角度の測定、ならびに平面度、道の真直度、直線平行度などの測定に有用である。

【0004】 レーザ干渉計システムは、搬送波信号の波長を計ることによって距離を測定するために、1890代後半にA. A. マイケルソン（Michelson）によって開発された技法に基づく。マイケルソンは、銀被覆ハーフミラーを使用して光源からのビームを2つのビームに分割し、それらのビームを、遠くのミラーで反射させ銀被覆ハーフミラーで再び結合した。ミラーが正確に位置合わせされ静止している場合、観察者は一定の強さの光を見るが、ミラーの一方がきわめてゆっくりと動いている場合は、2つの経路からの光が加わって打ち消すために、観察者は、強さが繰り返し増減するビームを見る。ミラーが半波長の距離だけ移動することに、全体で1波長だけ光学経路が変化し、強さが完全に1サイクル変化する。光の波長が既知の場合は、ミラーの移動距離を正確に決定することができる。

【0005】 マイケルソンの装置をあまり精巧でない電子計測器に変換するには、ビーム強度を変化する電気信号に変換する光電池と、ビーム強度のサイクルを合計する電子計数器だけしか必要なかった。しかしながら、そのような装置を実現するためには、他にいくつかの改良が必要であった。第1に、現代の干渉計は、次の2つの理由のために光源としてレーザを使用している。すなわち、干渉計がかなり長い距離に使用される場合には、光が純粹（すなわち、単一波長）でなければならないことと、干渉計が正確であるためには、波長が正確に分かつていなければならないことである。第2の改良点は、方向検出電子回路を含むものであった。1つの光電池では目標リフレクタの移動方向を十分に検出することができなかった。はんどの従来の干渉計が方向の検出に使用していた方法は、光ビームのうちの1つを2つに分割し、一方について90度位相を遅らせ、次に再結合した後で、別々の光電池を使用してビームの各部分を検出する段階を含む。この技法によると、反射板が移動するときに強さが正弦波状に変化する2つの信号が生成され、これらの信号は、輝度の位相が90度異なる。直流増幅の後で、これらの2つの信号を使用して可逆カウンタを

駆動することができ、位相の分離は、動きの方向をカウンタに知らせるには十分である。部分的にしか対処されてこなかった第3の改良点は、光学的構成要素（すなわち、ミラー）の正確な位置決めである。

【0006】現代のレーザ干渉計システムは、一般に、正確な運動制御システムにおける尺度としてOEMによって使用される。一般に、このようなシステムは、直線運動と角運動のいくつかの軸を利用する。1つのレーザが6以上の干渉計軸に光を提供することができるため、ビームを分割してそれぞれの干渉計に送るために、多数のビーム・スプリッタとビーム曲げミラーが必要である。また、干渉計からの出力ビームが、軸方向の運動と正確に平行でなければならないので、それぞれの干渉計に合わせるために、個々の入力ビームの1区間を角度方向に操作し並進させなければならない。

【0007】近年、レーザ・ビームの角度方向と位置を高い精度と正確さで調整し固定する必要性が高まっている。医療、研究、IC製造、光ファイバ、計測学などの様々な用途において、ビームの直線方向に影響を与える（すなわち、ビームを並進させずに）レーザ・ビームの角度方向を正確に調整するために、長い間研究されまだ解決されていない必要性がある。また、角度変動なしにレーザ・ビームを正確に並進させることは、長年、光学業界の専門家によてもできていない。そのような調整は、しばしば、互いに独立し、最初の位置合わせの設定を乱すことなくしっかりと固定できなければならない（前述のように）。

【0008】従来の調整式マウントは、一般に、大きくて壊れやすく、振動と熱膨張誤差の影響を受けやすく、固定が困難である。さらに、固定する作業により、初期調整の設定が乱れることがある。具体的には、NewportTMモデル600Aなどの従来の運動学的マウントは、一般に、優れた分解能を実現するが、また角度の操作中にレーザ・ビームを並進させる。したがって、そのようなパラメータ（すなわち、並進と角度位置）を別々に調整することができない。NewportTMSLおよびSKシリーズの調整式マウントのようなジンバル式マウントは、一般に、ミラーを台にミラーの中心軸に沿って取り付けることによってビーム並進の問題を回避する。しかしながら、このようなジンバル式マウントは、壊れやすくサイズが大きいことに加え、分解能が不十分でかつ固定能力が低い。ZygotTMモデル7010および7011や、HP(セグル10710および10711などの準運動学的マウントは、一般に、超高感度用途では分解能と固定能力がほとんど使いものにならない。

【0009】より正確な光学システムの需要が高まり続いているため、光学装置および/またはレーザ・ビームの角度位置を調整し固定するための新しく改善された装置と方法が必要とされる。現在まで、この作業を実施するための効率的でかつ経済的に許容可能な装置と方法は

ない。

【0010】

【課題を解決するための手段】したがって、本発明は、光学装置および/またはレーザ・ビームの角度位置をその実質的な直線変位なしに調整するための光学装置取付け機器および方法を対象とする。本発明の独特な構成により、光学装置を、実質上どの方向の動きもなしに調整位置に固定することができる。

【0011】この機器は、球を含み、その球は、その中に取り付けられた光学装置を含むか、その少なくとも一部分が光学装置自体である。球の角度変位が、実質上直線変位なしに可能であるように、支持体が、球の外側面と物理接触して配置される。球の外側面と物理接触したクランプが、球にトルクを実質上伝達することなしに球を介して支持体に対する力を提供することができる。このようにして、光学装置の正確な位置決めが可能である。

【0012】様々な代替実施形態において、光学装置の中心軸を球の中心軸に沿って位置決めしつゝまたはすべての締付け力を球の回転中心の方向に向けることができる事が企図される。球は、必要に応じて、取外し可能な調整ツールを受けることができるようになっており、それにより、普通ならば従来の永久的調整ツールに起因する装置の質量が削減される。実質上純粹な運動学的動作を必要とする場合、支持体は、球の外側面に沿った点接触を提供するように配置された複数の実質上剛性的のボールを含むことがある。また、支持体は、ボールを受け、球の動きに応じてボールの個々の回転運動を可能にするように適合されたペアリング・レースウェイを含むことがある。代替実施形態において、ボールは、支持体内に実質上永久的に配置されることがある。準運動学的動作が所定の用途に十分である場合、支持体は、球を受け、その外側面のまわりに線接触を提供するように適合された穴を含むことがある。

【0013】本発明の、クランプは、オリフィス20が中に形成された構造部材を含むことがある。オリフィス内に摺動可能にプランジャが配置され、プランジャの第1の端部が、球の外側面と接触するように適合される。プランジャの第2の端部近くのオリフィス内に、実質上剛性的のボールを配置することができる。少なくとも1つの調整可能な締め金具または固定式ばね締め金具を構造部材上に位置決めして、ボールを介した圧縮力を提供することができる。オリフィス内にプレテンションばねを配置し、それにより、調整可能な締め金具からの圧縮力がプレテンションばねの対抗圧縮力に打ち勝つのに十分でないときに、プランジャの第2の端部よりも上にボールが支持される。代替実施形態において、実質上剛性的のボールと接触する単一の調整可能な締め金具が締付け力を提供する。

【0014】もう1つの代替実施形態において、機器

は、球を含み、その球は、内部に取り付けられた光学装置を含むか、その少なくとも1部分が、光学装置自体、支持体およびクランプである。少なくとも2つの可能な位置を有する支持体およびクランプが、球の外側面と接触して配置される。クランプが第1の位置にあるとき、球は、中心点の実質上の直線変位なしに中心点のまわりにどの方向にも回転することができる。クランプが第2の位置にあるとき、球は回転できない。

【0015】本発明は、また、実質的な直線変位なしに光学装置の角度位置を正確に調整するための方法を対象とする。この方法は、光学装置を含むかまたはそれ自体が光学装置である球を提供し、球の角度位置が実質的な直線変位なしに可能であるように球を支持する段階を含む。その場合、球の角度位置が変更され、球は、方向の実質的変位なしに変更位置に固定される。

【0016】様々な代替の実施形態において、本発明方法は、球の角度位置を変化させる前に球の中心軸の方向に光学装置の中心軸を位置決めする段階および/または球の回転の中心に締付け力を向ける段階を含む。必要に応じて、取外し可能な調整ツールを使用して、球の角度位置を変更することができる。様々な用途は、球の支持が、複数の実質上剛性のボール（たとえば、3ボール・ネスト）、面取りした穴、三面体パターンで穴の周囲に位置決めされた突出部などによって提供されることを必要とする。球を支持するためにボールを使用する場合は、ボールを受け、球の動きに応じてボールを回転させることができるようにペアリング・レースウェイを提供することができる。球は、前述のような構造部材、ブランジャー、少なくとも1つの調整可能な締め金具、ボール、および互いに関連する少なくとも1つのばねを有するクランプによって変更位置に固定することができる。

【0017】本発明のその他の目的と特徴は、添付図面を考慮して詳細な説明を読むときに明らかになる。添付図面は、単に例示のためのものであり、本発明の範囲を定義するように意図されていないことを理解されたい。

【0018】

【発明の実施の形態】本発明は、実質的な直線変位なしに光学装置の角度位置を調整するための光学装置取付け機器および方法を対象とする。図1から図3および図6を参照すると、本発明の1つの実施形態は、球12と、球12の外側面と物理接触した支持体14とを含む。球12は、光学装置を含み、これは、本発明の状況において、球12を光学装置（図示せず）を受けるように機械加工するか別の方法で適合させることができ、または球12の少なくとも一部自体が光学装置でよいことを示す（たとえば、ガラス球、球面鏡など）。後で詳細に考察するように、支持体14の構成は、実質上直線変位なしに球12の角度変位を可能にする。本明細書で使用する「角度変位」という言葉は、回転中心の並進（すなわち、「直線変位」）なしに、複数の平面のうちの少なく

とも1つの平面における回転中心のまわりの球12の回転運動を指す。本明細書において使用する「直線変位」という言葉は、球の力学的中心の線形運動を指す。

【0019】この機器は、さらに、球12と支持体14を収容することができるハウジング16（図1、2、4～6および9～11）を含むことができる。クランプ18（図1、2および6～10）が、球12の外側面と物理接触して位置決めされ、球12を介して、すなわち実質上伝達トルクなしに、支持体14に力を提供する。したがって、クランプ18は、球12の外面に、実質的な回転力（すなわち、伝達トルク）を与えずに実質的に一方の力を提供することができる。この構成により、クランプ18が、球12の角度位置とそれゆえ光学装置を正確に調整し、次に維持することができる。

【0020】「光学装置」という言葉は、本明細書において使用するとき、電磁放射の一様を制御するために複数の平面における物理方向を調整する必要があるすべての装置を含む。光学装置の例には、ミラー、ビーム・スプリッタ、ビーム・ベンダ、レンズ、並進板、波長板、偏光子、光ファイバ、レーザなどがある。光学装置が球12に取り付けられる場合は、光19が光学装置を通ることができるよう球12に穴を開ける必要がある場合がある。

【0021】図2、3、6、8、および11に示した実施形態において（注：図6には3つの支持ボールのうちの1つだけを示す）、支持体14は、クランプ18と共に4つ接点（すなわち、球が、3つのボールと接触し、クランプと接触する）だけで球12を拘束する3ボール・ネスト20を含む。これにより、複数の平面における動きを同時にを行うことができ、また1度に1つの平面における動きを独立させて行うことができる。図8に示したように、この実施形態における拘束力13、15a、15bおよび15cはすべて、点接触から出て、球12の中心に向かう。締付け力13は、特に、3ボール・ネスト20のボールの中心に向かう3つの力成分15a、15b、および15cに分解され、3ボール・ネスト20は、たとえばスプリング・ボール・リテナ44（図11）によってまたはボールの回転を可能にするこことによって運動学的に、あるいはボールをハウジング16に堅く固定することによって準運動学的に、ハウジング16内のペアリング・レースウェイ22（図2と図6）によって拘束される。ボールの回転が可能にされる場合、レースウェイ22は、摩擦係数を小さくするために潤滑剤で被覆されることがある。ボールが固定される場合、接着（たとえば、エポキシ樹脂を使用）、溶接、圧入などによってボールをレースウェイ22内に固定するか、スプリング・ボール・リテナ11によってボールを運動学的に拘束することができる。代替実施形態において、個別の凹んだ穴（図示せず）をハウジングの底に形成し、それぞれの穴に1つのボールを受けるように

30
30
30
30
40
40
40
50

大きさを決めてよい。任意に、ボールをそれぞれの穴に固定してもよい。ボールを固定する場合、摩擦係数を小さくするためにボールには潤滑剤が提供されることがある。所定の用途における個別の環境に基づいて、当業者は、適切な潤滑剤を容易に選択することができる。

【0022】スプリング・ボール・リテーナ44が提供される場合、スプリング・ボール・リテーナ44は、ペアリング・レースウェイ22内にボール20を確実かつ運動学的に配置するのに十分な力を提供する。図11を参照すると、スプリング・ボール・リテーナ44は、1つまたは複数の保持部材46を固定するベース部分45を含むことができる。保持部材46および／またはベース部分45は、圧縮または湾曲させた後で元の形状を維持または復元することができる再帰的／弾性的材料で形成することができる。図示したように、保持部材46は、レースウェイ22との組合せでボール20を運動学的に取り付ける二叉フォークの形でもよい。

【0023】動作において、図2、3、6、8および11に示した実施形態は、少なくとも部分的に運動学的設計と弹性平均化の原理に基づく。一般に、位置決めシステムには、構成要素をそれぞれ位置決めする際にある程度の誤差が伴う。そのような構成要素の誤差の集約が、システムの「総誤差」である。この点について、総誤差が予測可能なほど、誤差のモデル化と補正が容易になる。純粹に運動学的なマウント法の場合は、強制的な幾何学的調和（すなわち、部品間の強制的な一致）がなく、構造物の構成要素を位置決めする際に伴う総誤差は、より予測可能である。これと反対に、弹性平均化マウント法では、一般に、幾何学的調和を強制し（拘束上で）、それにより、誤差の評価をより困難にする。これらの2つの原理の影響を受ける幾何学的誤差は、機械的接触を中断し、位置決めしなおし、次に機械的接触を再び確立することによって行われる割出し動作によるものである。運動学的原理は、物体を適切に支持するために必要な最小数の接触点で物体を拘束しなければならないことを要求し、一方、弹性平均化法は、支持される物体が、物体を動きなしに適切に支持する前に支持と反対の力を必要とすることを前提とするものである。したがって、運動学的設計の原理は、決定論的手法（たとえば、3本脚の椅子）であり、一方、弹性平均化の原理は、蓋然論的手法（たとえば、柔軟な枠を備えた5本脚の椅子）。

【0024】一般に、運動学的設計の原理により、本体を所望の位置と向きに拘束するのに必要な最小限の数の点において点接触を確立すべきことが示唆されている。その結果、運動学的な設計においては、大きな接触応力を受ける部分がある。したがって、摩擦と微小な凹部によって、運動学的モデルの精度が制限されることがある。たとえば、荷重(p)の下では、実際の接触面積は、接触している2つの材料のうちの柔らかい方の材

料の硬さに比例する。摺動に関しては、1つの面を別の面上で移動させるために必要な摩擦抵抗力(f)は、接触をせん断するのに必要な力である。この状況では、摩擦係数μは、水平方向の抵抗力と垂直荷重の比率として定義される。多くの金属の場合、硬さは、降伏応力(T)の約3倍であり、せん断強さは、降伏応力の約半分である。したがって、接点に汚れない場合は、次の関係を予測することができる。

【0025】

$$10 \quad \mu = f / p = T / 2 \cdot 1 / (3T) = 1 / 6$$

【0026】上記の関係は、摩擦係数が荷重と形状に無関係であり、使用される材料が金属の場合には、材料にもほとんど無関係であることを示す。しかしながら、この精巧でないモデルでは、汚れ、速度関連効果、ならびに表面の温度的、機械的および化学的特性など多くの要因が無視される。その欠点にも関わらず、このモデルは、摩擦が運動学的位置の繰り返し性を制限しやすいため、低い境界せん断強さを有する硬い表面を使用することが理想的であることを十分に示している。

【0027】3ボール・ネスト20のボールは、強化したセラミック材料などから作成することができる。球12の材料選択は、球12の穴の数、光学装置の識別、利用可能な機械加工ツールなどの多くの変数に依存する。

球12は、球12が実質的なひずみなしに圧縮力に耐えることができる酸化アルミニウム、炭化ケイ素、窒化ケイ素などのセラミックを含む硬い材料で形成することができる。硬い材料を機械加工することは困難なので、球12は、たとえば開始材料（たとえば、酸化アルミニウム）を粉体として射出成形し、次にたとえば粉体を所望の形状に圧縮し、焼結して強化した製品を作成することによって形成することができる。

【0028】2つの弹性表面の間の接触は、表面仕上げと表面全体の形状の両方によって複雑になる。このような要因と塑性ひずみの作用は、純粹な運動学的設計の位置決めの繰り返し性に悪影響を及ぼしやすい。したがって、運動学的設計の最大の利益を実現するために、一般に、できるだけ大きな力を回避しなければならない。大きな力は、堅く締め付けられた構造に閉じ込められ、クリープや異なる材料間の温度不整合のような望ましくない不安定性を高めることがある。この点において、本発明の独特な構成により、最小の一方向の力と最小の望ましくない第2の力（たとえば、トルク）によって、荷重を支持し、クランプを維持することができる。

【0029】ハウジング16が提供される場合、ハウジング16は、ペアリング・レースウェイ22を球12と同心に定義することができ、3ボール・ネスト20のそれぞれのボールを固定または自由に回転させることができる。さらに、ハウジング16は、取付け装置を、マシン・ベッド、計測枠、基準面などに固定することを可能にする。ハウジング16は、光19が光学装置と通信

するために入りかつ／または出しができるように機械加工されることがある。ころがり摩擦が必要な場合は、3ポール・ネスト20は、レースウェイ22内で自由に回転することができる。好ましい実施形態において、3ポール・ネスト20は、ハウジング16内のレースウェイ22の組合せと、取り付けられたスプリング・ポール・リテナ44によって最小限に拘束され、クランプ18から球12を通る反力によって増強される。3ポール・ネスト20のポールは、どの2つのポール間の距離も同じになるようにレースウェイ22の円周に（たとえば、スプリング・ポール・リテナ44によって）位置決めされる。

【0030】図5に示したように、本発明の準運動学的な実施形態は、球12を受けるようにサイズが決められた孔または穴23を有する支持体21を含む。好ましい実施形態において、穴23は、球12をその周囲の面に受け易くするために面取りされててもよい。図示した実施形態において、支持体21は、面25上に配置され、球12の力学的中心cと面25との間の距離bは、穴23の直径dと反比例する。したがって、穴23の大きさを変えることによって、面25よりも上の球12の高さを制御することができる。この構成は、理論上、球12の一部分のまわりに線接触を提供するが、この実施形態における光学装置の配置は、球12と穴23を有限の表面仕上げ誤差と形状誤差なしに作成できない限り、運動学的な3ポール設計に近づけることはできない。完璧に形成された球と穴を得ることが困難なので、一般に、ある程度のひずみを有する準運動学的な取付けが達成される。具体的には、球12が穴23に入れられるとき、穴23の不完全な面に沿った任意の最初の点接触が行われ、次に別の反対の接触が平衡力を提供するまで、穴の面取りした縁を滑って下がる。この場合、接合部が垂直荷重を支持することができるが、2つの点接触しかなく、主軸方向の直線自由度が残る。球12は、第3の接触が行われるまでどちらの方向にも自由に振れることができる。したがって、球は、十分な荷重が加わるまで不安定であり、その結果、接点のひずみが、2つの面の不完全さよりも大きくなることがある。この点において、本発明のクランプ（図5に示してない）は、接点に十分な荷重を提供することができる。任意に、三面の開口部を形成し、球12に対する点接触と実質上運動学的な支持を提供するために、穴23は、円周に沿った複数の突起（図示せず）を有することができる。

【0031】レーザ光源を含むいくつかの特定の用途では、光学装置の中心が中心点cすなわち球12の回転中心を占めるように、球12の中心軸27の方向に光学装置（図示せず）の中心軸を位置決めすることが望ましいことがある。たとえば、光学装置がミラーの場合には、この構成によって、入射ポイントが回転ポイントと同じになるようにミラーを位置決めすることができる。入射ボ

イントと回転ポイントが一致すると、入射角の変化と関係なしに反射光線が入射ポイントから出るようになり、それにより、特にレーザ干渉計システムなどの位置測定光学システムの光学精度が高まる。

- 【0032】図2、6、7および10に示した実施形態において、クランプ18は、オリフィス29が中に形成された構造部材24（蓋または天板）を含む。球12の外周面に沿った点31と接触するように適合されたプランジャ26は、オリフィス内に摺動可能に配置される。
 10 プランジャ26近くのオリフィス内にポール28が配置される。ポール28は、ひずみに耐えるように実質上硬くなくてはならない。ポール28を介して圧縮力（矢印33）を加えるために、調整式締め金具30がポール28に接触して配置される。他の調整式締め金具を使用できるように企図されているが、好ましい調整式締め金具はねじである。オリフィス内にばね32が入れられ、その結果、締め金具30による圧縮力が、ばね32の反対の圧縮力（矢印35）に打ち勝つのに十分でないときに、ばね32が、ポール28をプランジャ26の表面上に支持する。クランプ18は、調整中に球12上に浮動状態の点接触力を提供し、最終的な位置決めが達成された後で安定した均質の締付け力を提供することができる。ポール28と締め金具30の間とポール28とプランジャ26の間の同時の点接触の組合せにより、最終的な締付け力を、球12の中心を通る1つの方向にはたらかせることができる。この方式では、締付け中に位置を乱すことになるトルクやモーメントが実質上球12に加わらない。運動学的に拘束された球12の動きは、きわめて剛性の高い部品を使用することによって最小限に抑えることができるわずかな圧縮たわみだけである。
 20 【0033】動作においては、すべて矢印37で示した方向に、締め金具30がポール28を圧迫し、ポール28がばね32を圧迫し、ばね32がプランジャ26を圧迫し、プランジャ26が球12を圧迫する。第1の位置（図6に示した）において、締め金具30からの圧縮力33は、ばね32の対抗する圧縮力35に打ち勝つのに不十分である。したがって、ポール28は、プランジャ26の表面よりも上に支持される。この第1の位置において、ばねは、ポール28を支持するためにプランジャ26に軽い圧力を加える。したがって、調整中、軽いばね圧力が球12にかかる。調整が完了すると、クランプ18は、締め金具30を締めることによって第2の位置（図2に示した）に配置され、これにより、ばね32が圧縮され、ポール28がプランジャ26上に直接載ることができる。他の締め金具を使用できることが企図されているが、図に示した実施形態において、締め金具30は、回転させて締付け力を確立することができる止ねじである。締め金具30とポール28の間とプランジャ26とポール28の間の点接触は、球12の最終回転位置を乱すことなく確実な締付けを可能にする。より正確に
 30 40 50

言うと、クランプ18は、球12と接触するすべての点における摩擦力を高めることによりさらに他の回転を拘束する。この機器は、締め付けられたとき、すべての力が3ポール・ネスト20のポールの中心を通る純粹な圧縮する状態にある。ハウジング16と3ポール・ネスト20の組合せは、クランプ18から受ける力と直接対抗する。したがって、実質上、温度変化により機器を歪ませたり変形させたりする対抗力のない力はない。さらに堅く締め付けると、材料の降伏点を超えることがあり、それにより球12および／または支持体ポールが永久変形し（たとえば、凹む）する。これは、機器が決して再調整されない場合には許容可能なこともある。

【0034】図9に示したように、本発明のクランプの代替実施形態は、構造部材24上の様々な箇所に位置決めされた複数の調整式締め金具40を含むことができる。この実施形態において、オリフィス29は、構造部材24を完全に貫通していない。プランジャ26は、オリフィス29内に摺動式に配置され、ばね32は、オリフィス29内の構造部材24の凹面42とプランジャ26との間に配置される。稼働中、ばね32は、調整中にプランジャ26を介して球12にわずかな圧力（矢印41で示した）を提供する（前に考察したのと同じよう）。最終的な締付け力は、ばね32が縮み、凹面42がプランジャ26を圧迫するように、複数の締め金具40を同時に締め付けることによって加えられる。

【0035】示した実施形態は、球12の位置を移動させるために、サイズ、質量およびコストを高めることになるような部品を永久に組み込まない。しかしながら、別の実施形態では、そのような部品を永久に組み込むこともある。いくつかの用途では、固有周波数を高めるために機器の質量を最小限に抑え、それにより、その動作環境においてノイズ混入によって生じる望ましくない振動を最小限に抑えることが有利な場合があることに注意されたい。また、永久的な調整部品の追加は、装置の製造コストも高める。

【0036】図4と図10に示したように、球12の動きは、ハウジング16または別の基準点に一時的に取り付けられた外部調整ツール39によって達成することができる。調整ツール39は、スピンドル端がスピンドル軸と直角に位置決めされた差動マイクロメータなど、直交軸で細かい直線運動が可能な部品を支持する取付けブラケット40（図10）を含むことがある。レバー・アーム36を拡張継手（図示せず）などによって球12に一時的に固定して、レバー・アーム36を球12に一時的に堅く固定することができる。ポール38をアーム36の反対の端に配置し、直角に取り付けられたマイクロメータ34の平らな端部によってできた角に押しつけることができる（たとえば、ばね力37によって）。この構成は、一度に1つの平面において、マイクロメータのねじの直線運動を球12の回転運動に変換することができ

る。調整が完了したら、球12を締め付け（前に考察したのと同じように）、調整ツール39を取り外すことができる。

【0037】外部調整ツール39を利用すると、垂直平面においてレバー・アームの端に与えられる直線運動は、球12の縦振れ回転を達成する。水平面においてレバー・アーム36に与えられる直線運動は、球12の傾斜方向の（ピッチ）回転を達成する。マイクロメータ・スピンドル34の面に対してレバー・アーム36にバイアスをかけて、直線運動が与えられないときに、縦振れ（ピッチ）と横方向の振れ（yaw）を拘束するばねプランジャー43を提供することができる。図に示した実施形態では、レバー・アーム36の軸の回りの横振れは拘束されず、調整の休止中、球12は、6つの可能な自由度のうちの5つが拘束される。

【0038】いくつかの用途において、球12（およびそれと一体的な光学要素）の横振れ回転は、ビームの操作に影響を及ぼす。したがって、縦振れと横振れを調整をする前に、横振れに関して球12の向きを初期設定しなければならない場合がある。調整ツール39をハウジング16に取り付ける前に、セットアップ・ツール（図示せず）を利用して、球12の穴とハウジング16内の部品の1つを同時に噛み合わせることによって、横振れ軸に関して球12の向きを最初に決めることができる。たとえば、球12内にミラーを位置決めする場合、セットアップ・ツールは、ミラーの入射面が水平になるように球の向きを決めることができることが好ましい。ミラーが適切な初期位置にある場合は、前に考察したように、セットアップ・ツールを取り外して、調整ツール39を取り付けることができる。

【0039】本発明の光学装置取付け機器は、少なくとも1つの光学的構成要素の正確な位置調整によって利益を得る光学システムにおいて有用性を見いだすことができることを企図している。そのような正確な光学システムの例には、レーザ干渉計、レーザ・トランスデューサ、ビーム・スプリッタ、ウェハ・ステッパ、ビーム・トランスレータなどがある。

【0040】レーザ干渉計システム（図示せず）は、レーザ光波の干渉を使用して正確な距離の測定を行う一組の光学的構成要素と電子的構成要素である。レーザ干渉計システムは、一般に、レーザ・ヘッド、光学素子、および電子回路の3つの主要サブシステムを含む。このようなサブシステムは、高度なマイケルソン干渉計を構成する。レーザ・ヘッドは、単色光源を提供する。光学素子は、ビームを導き、干涉縞を生成する。電子回路は、明暗の縞を検出し、データを処理して距離情報を有用な形で提供する。

【0041】稼働中、レーザ（一般に、低出力He/N_eレーザ）は、垂直に偏光された11と12の2つの光学周波数を有するコヒーレント光ビームを放射する。川

力ビームの一部は、レーザ・ヘッドにおいてレーザのチューニング用に電子回路の基準信号として分割され、ビームの大部分は、離れた干渉計に送られる。偏光検出干渉計は、一方の周波数を目標点（立方体の角やミラー）に反射し、他方周波数を目標リフレクタに送る。送られたビームは、干渉計に反射され、そこで基準ビームと混ざり、その後で両方がレシーバに送られる。干渉計と目標リフレクタの相対運動によって、レシーバで検出される差動周波数にドップラ・シフトが生じる。このドップラ変調された差動周波数は、增幅されたとき、電子回路用の測定信号になる。電子回路は、レーザ・ヘッドからの基準信号と、レシーバからの測定信号を比較し、それを処理して、高い分解能と有効な出力により位置を決定する。

【0042】前に考察したように、光学的構成要素（たとえば、ビーム・スプリッタ、ミラー、および並進板）の正確な調整は、レーザ干渉計の動作においてきわめて重要である。したがって、最も慣例的な干渉計は、個々に調整可能なミラーではなく立方体の角を使用する。しかしながら、立方体の角は、普通ならば調整可能なミラーにある干渉計の柔軟性を失わせる。したがって、本発明の光学装置取付け機器は、最新の計測学、IC製造および修理などの最も高感度の干渉計用途に必要とされる秒角感度でミラーを位置合わせするために使用できるよう企図されている。また、この光学装置取付け機器は、多軸測定用途においてレーザ・ビームを分割し干渉計に導くために使用できることが企図されている。

【0043】本発明の光学装置取付け機器は、また、縦振れと横振れにおいて平らな平行光学板を傾けるレーザ・ビーム並進装置（図示せず）において特に有用なことがある。この機能に使用されるとき、平行な端部を備えたガラス・ロッドが、ロッドの両端が球の穴から露出するように球に取り付けられる。ロッドの長さと屈折率は、球の角回転で示される入力ビームに対する所望の側方偏位を生成するように選択される。スネルの法則による入射ビームの屈折は、出力ビームを逸脱／並進させ、2つの平面における並進調整は、前述のような縦振れと横振れにおいて球を回転させることによって達成することができる。

【0044】いくつかのきわめて温度に敏感な用途では、同じ材料（たとえば、ステンレス鋼など）からすべての構成要素を形成することによって装置を断熱化することが有益なことがある。しかしながら、異なる材料を使用するとき、固定式の締め金具を使用することによって、熱による膨張と収縮の影響を最小限に抑えることができる。たとえば、構造部材24（蓋または天板）を、圧縮または湾曲後にその最初の形状を保持または回復させることができる弾性材料で形成することができる。装置が完全に組み立てられ調整されたとき、固定式ね締め金具が、動作環境の温度変動に関係なく球1

2に対する締付け力を実質上一定にするのを助けるようにすることができる。

【0045】本明細書で説明したそれぞれの要素または複数の要素はともに、以上説明したものとは異なる他の用途において有用性を見いだすことができることを理解されたい。たとえば、他の従来の光学装置取付け方法を、特定のシステム要件の必要に応じて本発明と関連して使用することができる。そのような方法は、たとえば、ジンバル取付けを含み、また本明細書で説明した実施形態のどれかへのジンバル式部品の追加を含むことができる。一方、本発明は、光学装置の角度位置を正確に調整する機器および方法において実施されるように例示し説明したが、併記の特許請求の範囲によって定義されたような本発明の趣旨からどのような形で逸脱することなく様々な修正および代替を行うことができるので、示した詳細には制限されないように意図される。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施形態による光学装置取付け機器の正面斜視図である。

【図2】図1の線2-2に沿った断面図である。

【図3】本発明の実施形態による光学装置取付け機器の一態様の断面斜視図である。

【図4】脱着可能な調整機構を含む本発明の実施形態による光学装置取付け機器の一態様の部分破断斜視図である。

【図5】本発明の実施形態による光学装置取付け機器の破断（部分的）斜視図である。

【図6】図1の線2-2に沿った断面図である。

【図7】本発明の実施形態によるクランプの断面拡大図である。

【図8】本発明の実施形態による光学装置取付け機器の一態様の破断斜視図である。

【図9】本発明のもう1つの実施形態の断面図である。

【図10】分離可能な調整機構を含む本発明の実施形態による光学装置取付け機器の一態様の平面図である。

【図11】本発明の実施形態による光学装置取付け機器の一態様の正面図である。

【符号の説明】

1 2 球

40 1 4 支持体

1 8 クランプ

2 0 3 ポール・ネスト

2 2 ベアリング・レースウェイ

2 4 構造部材

2 8 ポール

2 9 オリフィス

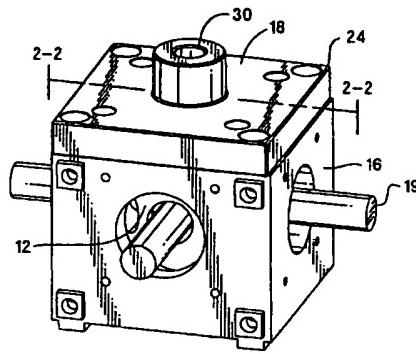
3 2 ばね

3 0、4 0 締め金具

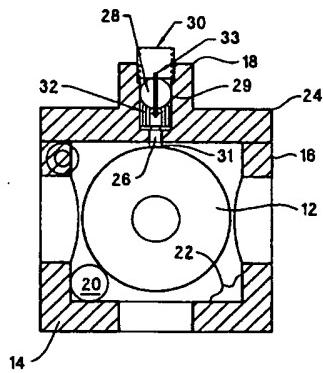
3 9 調整ツール

4 4 スプリング・ポール・リテナ

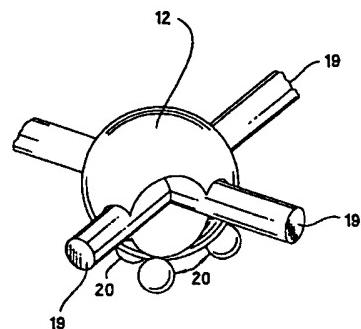
【図1】



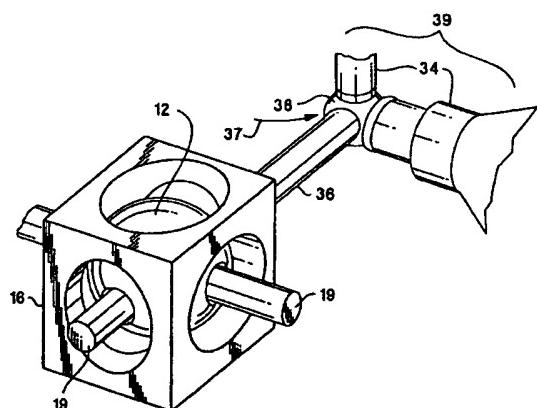
【図2】



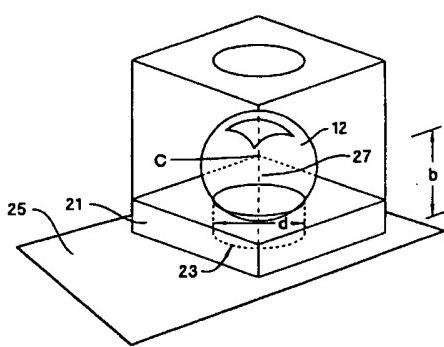
【図3】



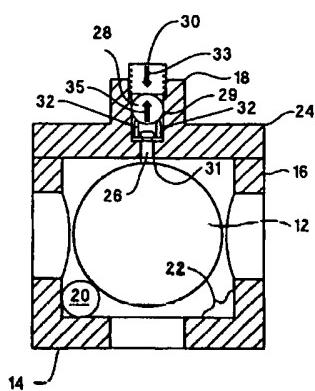
【図4】



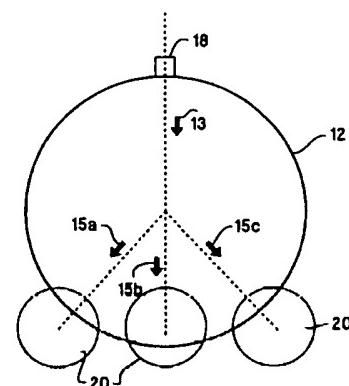
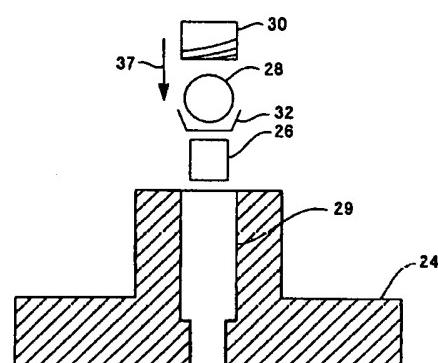
【図5】



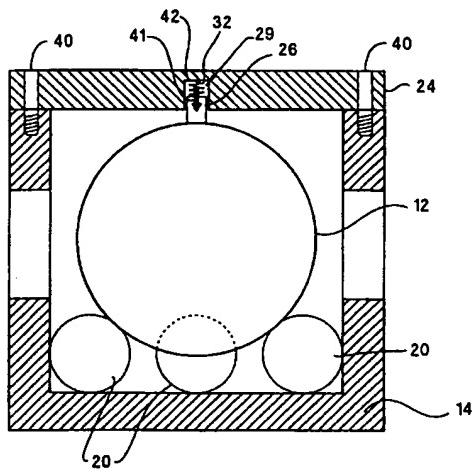
【図6】



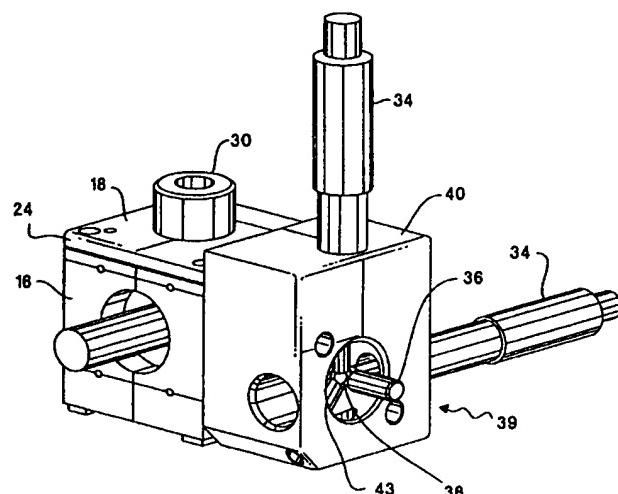
【図7】



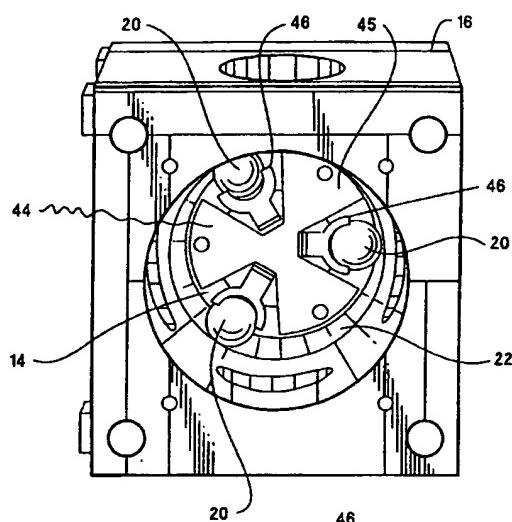
【図9】



【図10】



【図11】



フロントページの続き

(71)出願人 399117121

395 Page Mill Road
Palo Alto, California
U. S. A.